

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Шепеленка Ігоря Віталійовича

«Наукові основи технології нанесення антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування

1. Актуальність теми дисертації

Сучасні тенденції розвитку світового машинобудування направлені на суттєве збільшення експлуатаційних властивостей машин і механізмів за рахунок підвищення якості робочих поверхонь деталей. У даний час для покращення триботехнічних характеристик робочих поверхонь широке застосування знайшли способи формування антифрикційних покриттів на металеві поверхні тертя. До числа інноваційних технологій нанесення таких покриттів слід віднести фінішну антифрикційну безабразивну обробку ФАБО, яка реалізується за рахунок фрикційної взаємодії оброблюваного інструменту з поверхнею оброблюваної деталі з метою поліпшення умов припрацювання і підвищення зносостійкості. Для забезпечення високої якості поверхневого шару деталей, в тому числі з покриттями, перспективним слід вважати напрямок з використання методів комбінованої обробки, що дозволяють поєднувати переваги різних методів. Таким чином, поєднання ФАБО з методами поверхневого пластичного деформування, наприклад, деформуючим протягуванням дозволить створити нову технологію нанесення антифрикційних покриттів задля підвищення якості поверхонь тертя деталей. Особливої ваги дане питання набуває при обробці та експлуатації виробів із малопластичних матеріалів, експлуатаційна стійкість яких багато в чому залежить від стану поверхневого шару, що визначається технологічними методами обробки.

У зв'язку з цим дисертаційну роботу, яка спрямована на підвищення якості поверхонь тертя деталей з малопластичних матеріалів за рахунок розроблення технології нанесення антифрикційних покриттів треба визнати актуальною, своєчасною і важливою.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами

Дисертаційне дослідження виконувалось в рамках науково-дослідних робіт Центральноукраїнського національного технічного університету, зокрема таких: «Підвищення якості поверхні й довговічності деталей вузлів тертя машин нанесенням антифрикційних покриттів комбінованими методами» (державний реєстраційний № 0116U001895); «Підвищення ефективності деформуючого протягування виробів із чавуну» (державний реєстраційний № 0121U111866); «Розробка технологічних методів управління ресурсом пластичності малопластичних матеріалів» (державний реєстраційний № 0121U111867), в яких здобувач брав безпосередню участь.

3. Наукова новизна досліджень та отриманих досліджень

Наукова новизна одержаних результатів полягає в створенні наукових основ технології нанесення антифрикційних покриттів на поверхні деталей з малопластичних матеріалів з використанням холодного пластичного деформування:

- вперше виявлені закономірності контактної взаємодії одиничної мікронерівності у вигляді різця з оброблюваного матеріалу з поверхнею антифрикційного матеріалу, що дають можливість дослідити механіку мікрорізання з тонкими товщинами зрізу при ФАБО;
- вперше запропоновано метод отримання значних пластичних деформацій для малопластичного матеріалу, який полягає в деформуванні збірного чавунного трубчастого зразка при його стисканні в умовах обмеженої окружної деформації по зовнішній поверхні в комбінації з іншими пластичними матеріалами;
- вперше експериментально встановлено закономірності формування антифрикційних покриттів;
- розроблена теоретична модель мікрорізання при ФАБО, що дозволила встановити умови інтенсифікації процесу та підвищити якість антифрикційного покриття;
- запропоновано метод розрахунку напружено-деформованого стану антифрикційного покриття на робочій поверхні деталей;
- встановлено закономірності взаємодії інструменту з деталлю при деформуючому протягуванні виробів із чавуну.

4. Практичне значення отриманих результатів

Базуючись на проведених теоретичних і експериментальних дослідженнях побудовано діаграму пластичності чавуну СЧ20. Розроблено способи нанесення антифрикційних покриттів та пристрої для їх здійснення. Технічна новина запропонованих розробок захищена патентами України на корисну модель.

Розроблені технологічні процеси нанесення антифрикційних покриттів лягли в основу створення ефективних технологічних процесів обробки робочих поверхонь гільз циліндрів ДВЗ та цапф шестерень гідронасосів; технологічних процесів збирання вінців шарошечних доліт.

Результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі Центральноукраїнського національного технічного університету.

5. Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень дисертації, ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації

Результати роботи досить повно викладено у опубліковано у 68 наукових працях, з них 2 монографії, 32 статті у наукових фахових виданнях, в тому числі 10 статей – у виданнях, включених до науково-метричної бази Scopus, 17 патентів України на корисну модель, 17 доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Результати роботи доповідались і були схвалені на чисельних міжнародних та всеукраїнських конференціях та семінарах.

Наукові положення, висновки та пропозиції у достатній мірі обґрунтовані теоретичним аналізом, експериментальними дослідженнями, тому їх слід вважати цілком достовірним. Дослідження базуються на використанні сучасних технологій статистичного, комп'ютерного моделювання методом скінченних елементів, теорії пластичності та пружності, диференційних та інтегральних розрахунків, статистичної обробки експериментальних даних, теорії подібності і розмірності, що в цілому забезпечило коректність постановки та вирішення задач, а також адекватність отриманих математичних та інтерполяційних моделей.

Достовірність отриманих результатів в цілому підтверджена послідовністю висновків, відповідністю теоретичних результатів та експериментальних даних.

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, достовірні, а їх обґрунтування проведено з необхідною повнотою.

Автореферат за своїм змістом відповідає основним положенням, висновкам, які наведені в дисертаційній роботі, відображає її структуру та у повній мірі розкриває сутність виконаної роботи, відображає загальний зміст та є ідентичний основним положенням дисертації.

6. Структура і характеристика роботи

Дисертація складається з анотації українською та англійською мовами, вступу, 8 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 465 друкованих сторінок, у тому числі 261 рисунок, 20 таблиць та 35 сторінок додатків.

У вступу подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі автором проаналізовано стан проблеми. Встановлено, що з точки зору досягнення високої якості поверхневого шару деталей найбільш перспективним слід вважати напрямок з використання методів комбінованої обробки, що дозволяє поєднувати переваги різних методів. Висунуто припущення про можливість поєднання ФАБО з методами поверхневого пластичного деформування, а саме, деформуючим протягуванням. Сформульовані мета і задачі дослідження.

У другому розділі наведені умови проведення експериментів, характеристики обладнання та досліджуваних матеріалів. Розроблено та використано ряд оригінальних методик: моделювання процесу осадки трубчастого зразка та деформуючого протягування з використанням методу скінчених елементів; дослідження процесу нанесення антифрикційних покриттів фрикційно-механічним методом; моделювання роботи деформуючого елемента з поверхневим шаром зразка із покриттям; моделювання контактної взаємодії інструменту з мікровиступами поверхні при ФАБО; моделювання процесу осадки циліндричного трубчастого зразка в

умовах об'ємного стиснення; дослідження напружено-деформованого стану при моделюванні деформуючого протягування зразка методом скінчених елементів.

У третьому розділі представлені результати досліджень з моделювання процесу мікрорізання при ФАБО. Встановлені закономірності взаємодії мікронеровостей обробленої поверхні з інструментом при ФАБО, які визначаються принципом пристосовності системи «інструмент – заготовка». Доведено, що при взаємодії мікронерівності з латунним інструментом практично відразу відбувається формування затупленої вершини мікронерівності з радіусом округлення, який в подальшому залишається практично незмінним.

У четвертому розділі представлені результати досліджень пластичних властивостей малопластичних матеріалів. Розроблена теоретична модель деформування збірного чавунного трубчастого зразка при спільному його стисканні в комбінації з іншими пластичними матеріалами. Запропонована методика моделювання осаджування циліндричного чавунного зразка в умовах об'ємного стискання за допомогою методу скінчених елементів, що дозволило виконати розрахунок напружено-деформованого стану зразка при його стисканні. Експерименти, сплановані відповідно до розробленої теоретичної моделі і результатам моделювання процесу осадки зразка, підтвердили результати розрахунків і дозволили вперше отримати значні пластичні деформації чавуну при від'ємних значеннях показника жорсткості напруженого стану.

У п'ятому розділі виконано дослідження механіки деформуючого протягування виробів із чавуну. Доведено, що при наявності в зоні контакту критичних контактних тисків в місцях сполучення позаконтактних зон з урахуванням контакту з'являються зони локального пластичного деформування. Запропоновані технологічні та конструктивні рекомендації з вибору геометрії і конструкції інструменту для деформуючого протягування. З позиції мінімізації значення ресурсу використаної пластичності оптимальним варіантом для проектування робочого елемента визначено використання кутів $\alpha \leq 4^\circ$ із обов'язковою наявністю криволінійної ділянки.

У шостому розділі розглянуто вплив основних технологічних факторів на якість антифрикційного покриття, отриманого ФАБО. Розроблено

статистичну математичну модель для визначення впливу технологічних факторів на якість антифрикційного покриття. Визначено оптимальні варіанти поєднання технологічних факторів, що забезпечують якість покриття. Доведено ефективність поєднання операції холодного пластичного деформування і ФАБО, що дозволить підвищити якість обробки деталей. Запропоновано технологія обробки гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання, що включає операції деформуючого протягування і ФАБО, яка забезпечує отримання робочої поверхні гільзи з поліпшеними фізико-механічними і трибологічними характеристиками та шорсткістю, близькою до рівноважної.

У сьомому розділі представлені дослідження напружено-деформованого стану антифрикційних покриттів, нанесених на робочу поверхню гільз циліндрів ФАБО. Запропоновано методику розрахунку напружено-деформованого стану в антифрикційному покритті. Результати дослідження та аналізу напружено-деформованого стану в зоні контакту дозволили розробити прискорений метод випробувань на зносостійкість покриття, нанесеного на робочу поверхню гільзи, що полягає в моделюванні реальних умов роботи поршневого кільця в зоні його контакту з поверхнею гільзи, включаючи стирання поверхні гільзи в поєднанні з послідовною взаємодією з піковими зонами великої концентрації напружень – стискаючих і розтягуючих.

У восьмому розділі наведені результати промислового впровадження, виконаного на основі отриманих науково-технологічних результатів. Розроблено і рекомендовано ряд технологічних процесів нанесення антифрикційного покриття з використанням ФАБО та деформуючого протягування, які передані на впровадження на вітчизняні підприємства.

7. Оцінка змісту дисертації

Робота, що рецензується, має всі необхідні для дисертації розділи, які достатньо повно розкривають виконану автором роботу – від аналізу існуючих теоретичних та технічних рішень до конкретних рекомендацій та інженерних методик. Стиль викладення дисертації відповідає вимогам, що встановлені до докторських дисертацій.

8. Зауваження до дисертаційної роботи

Позитивно оцінюючи подану до рецензування дисертаційну роботу, необхідно разом з тим відзначити наступні зауваження

1. В п'ятому розділі автор досліджує деформовність чавунних виробів – гільз із використанням критерію В.Л. Колмогорова. Сучасна теорія деформовності передбачає ґрунтовний аналіз напружено-деформованого стану, побудови шляхів деформування, діаграм пластичності для відповідних умов деформування тощо. Втім, автором вплив шляхів деформування на граничні деформації в роботі не розглядався. Проте, саме від їх виду залежить вибір того чи іншого критерію деформовності, розбіжність розрахунку за якими в окремих випадках може сягати 100% і більше (див. роботи В.А. Огороднікова, О.В. Грушка, І.О. Сивака тощо). А з огляду на вид отриманих шляхів деформування (наприклад, рис. 5.23 на стор. 251 або рис. 24, стор. 22 автореферату) із значною кривиною слід було використовувати деформаційний критерій В.А. Огороднікова. З цієї точки зору вибір критерію руйнування, який застосований в роботі, є необґрунтованим. А висновки, які слідують із його використання – сумнівними. Крім того, не здійснено експериментальну перевірку деформовності відповідних виробів.

2. В розділі 7 автор пропонує прискорену методику триботехнічних випробовувань. Методика ґрунтується на обчисленні деформаційно-силових параметрів за методом Мора. Проте, в методиці не враховано, що кільце в різних перерізах не однакової жорсткості, при цьому, жорсткістю «товстих» елементів знехтувано. Це вносить в результати обрахунку похибку невизначеної величини, яку можна було б оцінити експериментальним шляхом, проте в роботі це не зроблено.

3. Незрозуміло, в який спосіб автор отримав фізико-механічні характеристики чавуна СЧ20 (криві течії, рис. 2.37) для моделювання МСЕ в Deform-3Д (пункт 2.6). При цьому не наведено методики, даних, та підтверджувальних експериментів з цього питання. Втім, в розділі 4 автор отримує криву течії чавуна СЧ20 (рис. 4.28 на стор. 211), але ця крива інша і не відповідає рисунку 2.37.

4. Методика випробувань чавуна на пластичність, шляхом осаджування в гільзах не нова (див. роботи Сивака І.О., Лопатенка С.Г.) та має певні вади. З одного боку це невизначеність моменту руйнування, з іншого - виключно

розрахунковий підхід оцінки напруженого стану, що впливає на точність отримання діаграми пластичності.

Діаграма пластичності (рис. 4.42 або рис. 17 автореферату) по вісі ординат має бути представлена у безрозмірних координатах накопичених деформацій, а вона у наведена відсотках. Також, на сторінці 19 автореферату автор зазначає, що деформація до руйнування чавуна СЧ20 за певних умов склала 0,78, а в дужках зазначає «78%». Втім 78% відповідають логарифмічним деформаціям 0,58. Тобто, логарифмічні деформації і відносні деформації не рівні між собою. Особливо це стосується значних пластичних деформацій. Неврахування цих особливостей ставить під сумнів отриманих результатів щодо деформовності.

5. В авторефераті автор наводить загальновідомий з класичного курсу опору матеріалів узагальнений закон Гука (формули 26, 27) а також загальновідомі з теорії пластичності рівняння пластичної течії (7). Це є зайвим, достатньо було б просто згадати в тексті, на основі чого отримано шукані рівняння.

6. Деякі висновки по роботі (наприклад, № 1, 2, 4, 5, 6, 8) здебільшого відповідають анотаціям; кількість висновків не відповідає кількості поставлених задач дослідження. Перший пункт висновків має бути присвячений літературному аналізу.

7. Текст дисертації містить низку другорядної інформації, яку варто було б перенести в додатки: діаграми Паретто, епюри швидкостей деформації, (наприклад, рис. 6.29), поверхні відгуку та графіки ліній рівного виходу, опис особливостей моделювання в Deform-3Д тощо.

9. Загальні висновки до дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Шепеленка Ігоря Віталійовича «Наукові основи технології нанесення антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування» є завершеною науковою працею і має важливе значення в галузі машинобудування. Вирішено актуальну для технології машинобудування науково-технічну проблему, яка полягає у розробленні наукових основ технології нанесення антифрикційних покриттів з використанням холодного пластичного деформування задля підвищення якості поверхонь тертя деталей.

Одержані нові рішення науково-практичної проблеми, актуальність, практичне значення, новизна та закінченість досліджень, обґрунтування висновків заслуговує позитивної оцінки.

Зміст дисертаційної роботи, отримані основні наукові положення та висновки відповідають паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування.

Вказані зауваження щодо представленого дослідження не знижують вагомості отриманих у роботі наукових та практичних результатів.

Оцінюю дану роботу позитивно, вона відповідає вимогам п.п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, які висуваються до докторських дисертацій. Зміст роботи відповідає та напрямки дослідження відповідають паспорту спеціальності. Вважаю, що автор дисертації Шепеленко Ігор Віталійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент

Завідувач кафедри опору матеріалів та прикладної механіки

Вінницького національного технічного університету,

доктор технічних наук, професор

Грушко О. В.

